

植物生长调节剂和肥料混施对沟叶结缕草 越冬期生长和抗性生理的影响*

胡宏友^{1,2} 李 雄¹

(1. 厦门大学海洋与环境学院 厦门 361005; 2. 厦门大学近海海洋环境国家重点实验室 厦门 361005)

摘 要 为解决暖季型草坪草越冬期枯黄的问题,以沟叶结缕草为材料,利用 $L_9(3^4)$ 正交试验设计方法设计了植物生长调节剂、速效肥与有机肥 3 因子 3 水平正交混施试验。与清水对照相比,处理组沟叶结缕草叶面积指数、叶绿素含量、叶片游离脯氨酸和可溶性糖含量均显著提高,且根系活性、叶片抗氧化酶系(SOD、POD、CAT)活性显著增加,叶片丙二醛含量则显著降低。处理组整体上提高了草坪草越冬期的生长及抗冷性能,显著改善了草坪草的冬季景观效果。因子间极差分析表明,主效因子随草坪草生长和抗性指标的不同而存在差异,表明混施时各因子在保持草坪草冬季良好生长、提高抗性生理功能上所起的作用具有互补性。综合各指标正交分析结果,提出了混施的最优配方,即每升混合液肥中含多效唑、三十烷醇、硫酸钾镁肥、尿素和壳聚糖 300 mg、2 mg、1 500 mg、1 000 mg 和 1 000 mg,按 $200 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ 叶面喷施,花生饼按 $90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 撒施。

关键词 沟叶结缕草 越冬期 抗寒性 植物生长调节剂 肥料 正交试验

中图分类号: S688.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2009)06-1099-07

Effect of mixed application of growth regulators and fertilizers on the growth, cold-resistance and physiology of turfgrass *Zoysia matrella* in wintering period

HU Hong-You^{1,2}, LI Xiong¹

(1. College of Oceanography and Environmental Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China;

2. State Key Laboratory of Marine Environmental Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract In addressing the problem of warm-season turfgrass withering during winter, the turfgrass species *Zoysia matrella* was treated with growth regulators, fast-released fertilizers and organic fertilizers in $L_9(3^4)$ orthogonal test. Compared with the control, leaf LAI, chlorophyll, free proline and soluble sugar of the treatments significantly improve. Also, the activities of root and of antioxidant enzymes of SOD, POD and CAT improve, whereas malondialdehyde (MDA) content decreases significantly. Hence the growth, cold-resistance ability and landscape quality of turfgrass during winter under the treatments are significantly enhanced. Range analysis indicates that the effective factors vary with different test indexes, implying that plant growth regulators and fertilizers are complementary in promoting growth and enhancing physiological functions of turfgrass in winter. For an improved integrated quality of *Z. matrella* turfgrass in winter, an optimum formula is proposed based on comprehensive analysis of the growth and cold-resistance stress indexes. The proposed optimum formula is: liquid fertilizer, containing paclobutrazol, triacontanol, sulphate-potassium magnesium, urea and chitosan at $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $1\,500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $1\,000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ respectively. This should be applied to the turfgrass by foliage spray at $200 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$, and then peanut cake broadcasted at $90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$.

Key words *Zoysia matrella*, Wintering period, Cold-resistance, Plant growth regulator, Fertilizer, Orthogonal test

(Received Oct. 11, 2008; accepted Dec. 30, 2008)

沟叶结缕草(*Zoysia matrella*), 又称马尼拉草, 以南种植面积最广的草坪草之一。其最大的缺陷在于属暖季型草坪草, 质地细、耐干旱瘠薄^[1], 是亚热带 于不耐低温, 冬季易枯黄, 大大降低了草坪的景观

* 厦门市科技基金(2007-6)资助

胡宏友(1968-), 男, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事植物资源及环境生态学方面的研究。E-mail: hongyouhu@xmu.edu.cn

收稿日期: 2008-10-11 接受日期: 2008-12-30

价值。育种是解决暖季型草坪草冬季枯黄的最佳途径^[2],但成功案例并不多^[3],通过施肥、喷施生长调节剂等措施也能取得良好效果^[4]。

秋施钾肥^[5,6]、氮肥^[7]可促进暖季型草坪草的生长及抗寒(冷)性的提高,但也有钾、氮肥过多并不利于提高暖季型草坪草抗寒性的报道^[8,9]。磷肥可增加植株体内的可溶性糖和磷脂浓度,提高抗寒性,延缓暖季型草坪草的冬季枯黄^[2]。有机肥和微肥等提高暖季型草坪抗寒性的报道不多,已有的研究表明,鸡粪等有机肥能显著提高草坪光合作用及抗寒性^[10],维持冬绿效果有时会优于复合肥^[11]。

喷施植物生长调节剂可提高草坪草的抗寒性。如多效唑显著缓解细叶结缕草冬季枯黄^[12],赤霉素、细胞分裂素及脱落酸等生长调节剂可有效提高草坪抗寒能力^[13]。事实上,一些活性很强的植物生长调节剂,如三十烷醇、氯吡苯脲(CPPU)等,能显著提高农作物生长和抗逆境能力^[14,15],但在草坪草上的应用却较少报道。

肥料与植物生长调节剂混施对抗寒性影响的研究多集中在粮食作物等^[16,17],混施对提高冷季型草坪草的抗热性有显著效果^[18],但混施对暖季型草坪草生长及抗寒能力的影响及主效因子分析鲜见报道。为此,本文以沟叶结缕草为材料,探讨植物生长调节剂、速效肥和有机肥混施条件下影响冬季草坪草营养生长、活性氧清除系统及抗性指标的主效因子,筛选提高草坪草综合质量的最优配方。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于福建省厦门市南湖公园(118°06'E, 24°28'N),属南亚热带季风气候,年均气温 21℃,极端最高气温 38.3℃,极端最低气温-2℃,全年无霜,年日照时数 2 276 h,年均降水量 1 300~1 500 mm,年均蒸发量 1 668.1 mm,年均相对湿度 78%,海拔 40~60 m。

试验样方为人工统一管理的 6 年生沟叶结缕草草坪。草地土壤属赤红壤,土壤全氮、速效磷、速效钾含量分别为 0.45 g·kg⁻¹、6.98 mg·kg⁻¹、106.2

mg·kg⁻¹,pH 为 5.2,试验期间(2007 年 11 月 12 日~2008 年 1 月 21 日)月平均气温为 9.3℃。

1.2 供试材料与处理

2007 年 11 月 12 日处理,采用 3 因子 3 水平正交试验。因子与水平的设置依据:生长调节剂选择已报道有显著效果的多效唑(PP333, C₁₅H₂₀ClN₃O),并增加了活性较强的三十烷醇(Triacontanol, C₃₀H₆₂O)和氯吡苯脲(CPPU, C₁₂H₁₀ClN₃O);速效肥主要选择植物大量营养及光合需要的氮、磷、钾及镁肥;有机肥选择对提高抗性有显著作用的腐植酸、壳聚糖和肥效较好的花生饼。依据 L₉(3⁴)正交表进行设计,处理编号为 M1~M9,各处理因子水平组合分别为 M1, A1B1C1; M2, A1B2C2; M3, A1B3C3; M4, A2B1C2; M5, A2B2C3; M6, A2B3C1; M7, A3B1C3; M8, A3B2C1; M9, A3B3C2,具体设置见表 1。另增设只喷施等量清水的处理组作为对照,共计 10 个处理,每处理 3 次重复,共计 30 个样方,各样方面积 1 m×1 m,随机区组排列。其中,花生饼磨粉后按 90 g·m⁻²直接撒施,其他肥料和调节剂根据表 1 浓度复配成原液后以 200 mL·m⁻²叶面喷施。

1.3 指标测定

处理 45 d 后,对各处理样方进行采样,测定生长及根系活力指标。另从各处理样方中采集足量鲜叶,一部分以黑塑料袋带回室内,进行叶绿素及抗性指标的测定;另一部分则用装有冰块的保温桶带回实验室,立即进行清除活性氧酶系活性测定。

1.3.1 生长及根系活性指标

用 10 cm×10 cm 的样框于每样方内随机取 3 个小样方。地上部剪至根茎基部测鲜重,地下部挖至无根处(土层深约 20 cm),取土和根的混合物筛分、洗净去杂,测根鲜重。鲜样 60℃烘干至恒重测含水率,根据鲜重产量和含水率分别计算地上和地下部(根)生物量及根冠比和总生物量^[19]。从洗净的根系中选取适量活根,采用氯化三苯基四氮唑(TTC)法测定根系活力^[20]。采用扫描-图形软件法测单位叶面积的叶鲜重,据总叶鲜重换算叶面积指数(LAI)。

1.3.2 叶绿素及抗性指标

从黑塑料袋内分别取适量鲜叶,采用丙酮-乙醇

表 1 L₉(3⁴)因子水平表
Tab. 1 Factors and levels of L₉(3⁴) orthogonal treatments

水平 Level	因子 Factor		
	A 生长调节剂 Plant growth regulator	B 速效肥 Fast-released fertilizer	C 有机肥 Organic fertilizer
1	A1(多效唑 Paclobutrazol 300 mg·L ⁻¹)	B1(尿素 Urea 1 500 mg·L ⁻¹)	C1(腐植酸 Humic acid 1 000 mg·L ⁻¹)
2	A2(多效唑 Paclobutrazol 300 mg·L ⁻¹ +三十烷醇 Triacontanol 2 mg·L ⁻¹)	B2(磷酸二氢钾 Potassium dihydrogen phosphate 1 000 mg·L ⁻¹)	C2(壳聚糖 Chitosan 1 000 mg·L ⁻¹)
3	A3(三十烷醇 Triacontanol 2 mg·L ⁻¹ +氯吡苯脲 CPPU 20 mg·L ⁻¹)	B3(硫酸钾镁 Sulphate-potassium magnesium 1 000 mg·L ⁻¹)	C3(花生饼 Peanut cake 90 g·m ⁻²)

混合液法测定叶绿素^[21]、蒽酮法测可溶性糖^[20]、酸性茚三酮比色法测定游离脯氨酸^[20]。

1.3.3 清除活性氧酶系活性指标

取 0.5 g 剪碎的鲜样经冰浴磨碎后, 4 下离心 ($6\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$) 4 min, 取上清液供 SOD、POD、CAT、可溶性蛋白、MDA 含量测定。其中, SOD 活性测定采用氮蓝四唑(NBT)光还原法^[22]、POD 活性测定采用愈创木酚氧化法^[23]、CAT 活性采用高锰酸钾滴定法^[20]、可溶性蛋白测定采用考马斯亮蓝法^[20]、丙二醛含量测定采用 TBA 比色法^[20]。

1.4 草坪综合质量评价方法

本研究尝试选择草坪草高度、叶绿素含量、根系活力、叶面积指数和生物量 5 个分质量指标, 分别代表草坪的观赏性、矿质营养积累能力以及净光合性能, 归一法计算各处理样方内草坪草分质量, 采用综合权重统计出综合质量。具体计算公式为:

$$Q_{nj} = \frac{m_{nj}}{\max(m_{n1}, m_{n2}, \dots, m_{nj}, \dots, m_{nk})} \quad (1)$$

$$Q_j = \sum_{n=1}^5 (Q_{nj} \cdot r_n) \quad (2)$$

式中, Q_{nj} 为第 j 处理样方的第 n 指标分质量, 无量纲; Q_j 为第 j 处理样方的综合质量, 无量纲; m_{nj} 为第 j 处理样方的第 n 指标的平均值; r_n 为第 n 指标的权重, 取 0.2; n 为各分质量指标编号, $n=1, 2, 3, 4, 5$; j 为各处理样方编号, $j=1 \sim k$; k 为总样方数, $k=27$ 。

1.5 数据统计和处理

处理与对照样方各指标数据的单因素方差分析采用 Excel。各指标的正交试验结果分析采用 SPSS 软件进行, 其中, 因子水平间多重比较采用 Duncan 法, 以 $\alpha=0.05$ 水平进行差异显著性检验, 因子间作用效果比较采用极差法^[24]。

2 结果与分析

2.1 影响沟叶结缕草生长及生物量的主效因子

根据极差分析结果(表 2), 3 种因子对沟叶结缕草生物量影响大小为 $A>B>C$, 对草层高度和叶面积指数影响大小均为 $B>A>C$ 。各因子水平间多重比较(表 2)表明, 按生物量大小排序: A 因子水平间为 $A2>A3>A1$, B 因子为 $B3\approx B1>B2$, C 因子为 $C2>C3\approx C1$; 对草层高度, B1、A2、C2 或 C3 显著大于同一因子其他水平; 对叶面积指数, 除 B1 水平, 各因子内水平间差异不显著。处理组生物量显著高于对照, 但草层高度与 LAI 差异不显著。

由此可知: 3 因子混施时, 调节剂对冬季草坪生物量累积的影响较大, 速效肥则对草层高度和叶面积指数的影响较大; 调节剂显著影响生物量累积和

草层高度, 总体以三十烷醇与多效唑混施效果优于多效唑单施及其与 CPPU 混施; 速效镁肥及氮肥促进生物量累积的效果显著优于钾肥; 有机肥中壳聚糖促进生物量累积效果显著高于花生饼和腐植酸。

综上所述, 肥效最佳组合以生物量做指标为 A2B3(或 B1)C2, 以草层高度做指标为 A2B1C2(或 C3), 以 LAI 做指标为 A2B1C3(或 C2)。综合生长和生物量指标分析, 肥效最佳组合为 A2B1C2(或 C3)。

2.2 影响沟叶结缕草根活力及叶绿素含量的主效因子

极差分析结果(表 3)表明, 在所选择的因子水平内, 3 因子对根系活力的影响为 $C>A>B$, 对根冠比影响为 $A>C>B$, 对叶绿素含量影响为 $B>A>C$ 。可见, 复合施用, 有机肥和调节剂提高冬季草坪根系活力及增加根冠比的效果优于速效肥, 而提高叶绿素含量的效果却较速效肥差。根据水平间多重比较结果(表 3), 按根系活力和叶绿素含量大小排序: A 因子为 $A2\approx A1>A3$, B 因子为 $B1>B2\approx B3$, C 因子为 $C3>C2\approx C1$; 值得注意的是, 不同调节剂对根冠比产生了显著影响, 而不同速效肥和有机肥对根冠比影响均无显著差异。此外, 处理组的根系活力和叶绿素含量较对照整体显著提高。

综上, 以根系活力和叶绿素含量为指标, 肥效最佳组合均为 A2(或 A1)B1C3; 以根冠比为指标, 除 A3 外, 不同肥料和调节剂混施影响差异不显著。

2.3 影响沟叶结缕草清除活性氧酶活性的主效因子

各因子对酶活性影响的极差分析结果见表 4。在所选择的因子水平内, 3 因子对 SOD 活性影响程度为 $C>A>B$, 对 POD 和 CAT 影响均为 $A>C>B$ 。根据水平间多重比较, 不同 A 水平下 SOD、POD 和 CAT 活性差异显著, 作用大小总体呈 $A2\approx A1>A3$ 。B 和 C 因子不同水平下 SOD 活性大小为 $B1>B3\approx B2$ 和 $C3\approx C2>C1$, 而 POD 活性均无显著差异。与对照相比, 处理各水平间酶活性总体较高。说明提高清除活性氧酶系活性的效果, 3 因子呈现以下特点: 有机肥和调节剂均优于速效肥; 调节剂以多效唑与三十烷醇复合效果最佳; 有机肥以花生饼肥最佳。各因子提高清除活性氧酶活性的最优组合为 A2B1C3。

2.4 影响沟叶结缕草可溶性蛋白和可溶性糖含量的主效因子

根据极差分析结果(表 5), 在所选择的因子水平内, 3 种因子对草坪草体内可溶性蛋白和可溶性糖含量影响相似, 为 $A\approx B>C$ 。各因子水平间多重比较表明, B1、A2 和 C3 下的可溶性蛋白和可溶性糖含量高于或显著高于同因子其他水平, 且显著高于对照

表 2 生长调节剂及肥料混施影响沟叶结缕草生长、生物量积累及综合质量的多重比较及极差分析

Tab. 2 Multiple comparison and range analysis of the growth, biomass and integrated quality of *Z. matrella* among the treated groups with plant growth regulators and fertilizers

因子 Factor	生物量 Biomass ($\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$)			草层高度 Turf height (cm)			叶面积指数 LAI ($\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$)			综合质量 Integrated quality		
	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range
A	A2	1 311.5±341.9a*	643.2	A2	6.6±2.0a	1.4	A2	6.33±1.48a	0.61	A2	0.725±0.156a	0.172
	A3	965.7±363.0b*		A1	5.8±0.9b		A1	5.79±1.41a		A1	0.586±0.106b	
	A1	668.3±187.0c*		A3	5.2±0.8b		A3	5.72±1.55a		A3	0.553±0.112b	
B	B3	1 179.1±292.1a	436.8	B1	7.2±1.5a	2.2	B1	6.88±0.86a	1.59	B1	0.740±0.114a	0.199
	B1	1 023.5±514.6a		B3	5.4±0.8b		B3	5.67±1.52ab		B3	0.583±0.064b	
	B2	742.3±237.9b		B2	5.0±0.6b		B2	5.29±1.50b		B2	0.541±0.159b	
C	C2	1 214.1±485.4a	406.9	C2	6.3±2.2a	1.0	C3	6.06±0.99a	0.30	C3	0.670±0.072a	0.166
	C3	924.2±157.0b		C3	6.1±0.4a		C2	6.03±2.05a		C2	0.640±0.201b	
	C1	807.2±397.2b		C1	5.3±0.8b		C1	5.76±1.27a		C1	0.554±0.115b	
CK		534.38±68.42			5.67±0.38			5.88±0.39			0.447±0.006	

表示同因子不同水平间差异显著, 同列不同字母表示经 Duncan 检验在 0.05 水平上差异显著, 下同。 means significant difference among levels of one factor; data in a column followed by different letters are significantly different at $P=0.05$, according to Duncan Test. The same below.

表 3 生长调节剂及肥料混施影响沟叶结缕草根系活力和叶绿素含量的多重比较及极差分析

Tab. 3 Multiple comparison and range analysis of the root activities and chlorophyll content of *Z. matrella* among the treated groups with plant growth regulators and fertilizers

因子 Factor	根系活力 Root activity ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$)			根冠比 Root-shoot ratio ($\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$)			叶绿素含量 Chlorophyll content [$\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$]		
	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range
A	A2	48.78±16.29a	16.59	A1	0.095±0.022a	0.030	A2	0.208±0.071a	0.060
	A1	44.35±9.80a		A2	0.092±0.033a		A1	0.174±0.059ab	
	A3	32.19±8.30b		A3	0.065±0.017b		A3	0.148±0.057b	
B	B1	50.09±7.30a	14.89	B3	0.089±0.018a	0.012	B1	0.234±0.024a	0.094
	B2	40.03±18.45b		B1	0.086±0.037a		B2	0.156±0.080b	
	B3	35.20±8.55b		B2	0.077±0.027a		B3	0.140±0.033b	
C	C3	50.68±10.27a	20.62	C2	0.096±0.037a	0.024	C3	0.210±0.047a	0.058
	C2	39.58±11.52b		C1	0.084±0.019a		C2	0.169±0.066b	
	C1	30.06±14.58b		C3	0.072±0.021a		C1	0.152±0.074b	
CK		22.88±9.94			0.090±0.01			0.09±0.01	

表 4 生长调节剂及肥料混施影响沟叶结缕草叶片活性氧清除酶系活性的多重比较及极差分析

Tab. 4 Multiple comparison and range analysis of the activities of active oxygen scavenging enzymes of *Z. matrella* among the treated groups with plant growth regulators and fertilizers

因子 Factor	超氧化物歧化酶活性 SOD activity [$\text{unit} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$]			过氧化物酶活性 POD activity [$\Delta\text{OD}_{470} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{g}^{-1}(\text{FW})$]			过氧化氢酶活性 CAT activity ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)		
	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range
A	A2	1 654.4±550.9a	494.0	A2	11.52±1.33a	1.7	A1	9.31±3.64a	5.37
	A1	1 631.8±196.6a		A1	10.97±1.86ab		A2	9.27±2.64a	
	A3	1 160.4±514.9b		A3	9.82±1.14b		A3	3.94±2.60b	
B	B1	1 747.7±280.2a	414.8	B1	11.42±1.44a	0.99	B1	8.72±1.92a	2.64
	B3	1 366.0±343.2b		B3	10.47±1.57a		B3	7.73±4.78a	
	B2	1 332.9±682.9b		B2	10.43±1.72a		B2	6.08±4.23b	
C	C3	1 750.7±393.2a	622.1	C3	11.32±1.50a	1.30	C3	10.47±3.24a	5.26
	C2	1 567.2±318.3a		C1	10.97±1.27a		C2	6.85±3.57b	
	C1	1 128.6±544.5b		C2	10.02±1.83a		C1	5.21±2.97c	
CK		1 446.83±407.46			7.12±0.22			2.18±0.63	

表 5 生长调节剂及肥料混施影响沟叶结缕草逆境生理指标的多重比较及极差分析
Tab. 5 Multiple comparison and range analysis of stress physiological indexes of *Z. matrella* among the treated groups with plant growth regulators and fertilizers

因子 Factor	可溶性糖含量 Soluble sugar content (%)			可溶性蛋白含量 Soluble protein content [mg · g ⁻¹ (FW)]			丙二醛含量 MDA content [μmol · g ⁻¹ (FW)]			游离脯氨酸含量 Free proline content [mg · g ⁻¹ (FW)]		
	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range	水平 Level	均值 Mean	极差 Range
A	A2	0.425±0.226a	0.200	A2	14.49±2.71a	4.39	A3	6.63±2.92a	2.65	A2	0.26±0.18a	0.10
	A1	0.239±0.061b		A1	12.95±4.43a		A1	5.75±3.24ab		A1	0.20±0.09ab	
	A3	0.225±0.067b		A3	10.10±2.32b		A2	3.98±0.57b		A3	0.16±0.12b	
B	B1	0.410±0.228a	0.211	B1	14.96±3.11a	4.45	B3	6.77±2.83a	2.76	B1	0.28±0.05a	0.19
	B2	0.279±0.099b		B2	12.08±3.82b		B2	5.57±3.23ab		B2	0.26±0.18ab	
	B3	0.199±0.018c		B3	10.51±2.79b		B1	4.01±0.81b		B3	0.09±0.02b	
C	C3	0.392±0.074a	0.195	C3	13.57±3.02a	3.13	C2	5.84±1.78a	1.02	C3	0.30±0.17a	0.15
	C1	0.300±0.032b		C1	13.53±4.12a		C1	5.70±3.03a		C2	0.17±0.07b	
	C2	0.197±0.244c		C2	10.44±3.19b		C3	4.82±3.22a		C1	0.15±0.11b	
CK		0.16±0.024			7.03±0.19			8.72±0.26			0.13±0.04	

($P<0.05$)。可见, 尿素、多效唑及三十烷醇混合施用对促进可溶性蛋白和可溶性糖含量效果最好, 施用花生饼对促进二者含量亦有显著效果。

2.5 影响沟叶结缕草游离脯氨酸和丙二醛含量的主效因子

以游离脯氨酸为指标, 在所选择的因子水平内, 3 因子间极差大小为 $B>C>A$, 以丙二醛含量为指标, 3 因子间极差大小为 $B>A>C$ (表 5)。各因子水平间多重比较结果表明, A2 和 B1 促进脯氨酸积累、抑制丙二醛的效果均较同因子下其他水平好, C 因子各水平间丙二醛含量差异不显著。表明在促进脯氨酸、抑制丙二醛积累方面, 速效肥效果大于植物生长调节剂和有机肥, 各因素水平间分别以多效唑和三十烷醇混施、尿素、花生饼的作用效果较同因子下其他水平显著, 也显著高于对照。

2.6 混施对沟叶结缕草草坪综合质量的影响

处理草坪与对照草坪的综合质量比较见图 1。从图 1 可知, 近 80%处理样方的草坪质量显著高于对照($P<0.05$), 表明处理提高了草坪的综合质量。

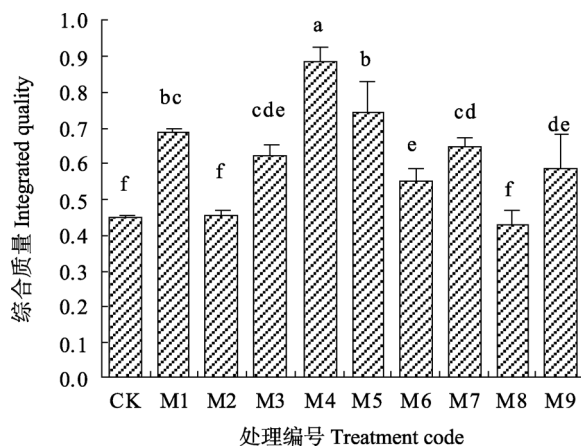


图 1 处理组与对照组草坪综合质量比较

Fig. 1 Comparison of the integrated quality of turfgrass among the treatments and control

草坪综合质量的正交分析结果见表 2。结果表明, 3 因子对草坪综合质量的影响贡献大小为 $B>A>C$ 。说明混施配方中, 速效肥和调节剂在提高草坪综合质量方面具有重要作用。水平间差异显著性比较表明, 以 A2B1C3 为最佳配方组合, 即调节剂用多效唑和三十烷醇, 速效肥用尿素, 有机肥用花生饼, 三者混施可促进越冬期沟叶结缕草的生长, 保持植物生长和营养吸收, 显著提高草坪观赏度。

3 结论与讨论

3.1 调节剂和肥料混施对沟叶结缕草冬季营养生长的影响

暖季型草坪通常在低温时生命活动逐渐下降, 主要表现在光合能力和根系吸收能力下降, 从而影响暖季型草坪草越冬期的生长^[25]。施用合适的植物生长调节剂可以提高草坪根系活力, 促进草坪冬季生长^[12]。施肥一定程度上增加了草坪草营养元素的吸收, 在低温逆境下保持良好的营养状况, 保证越冬质量^[26]。本研究表明, 植物生长调节剂、速效肥和有机肥复合施用对草坪冬季营养生长起到了显著促进作用, 但它们所起的作用有所不同, 其中, 调节剂(多效唑与三十烷醇复合)是冬季草坪生物量累积和增加根冠比的主效因子; 速效氮肥是促进草层高度、叶面积指数及叶绿素含量的主效因子; 而有机肥中的花生饼则是提高根系活力的主效因子。

选择合适的植物生长调节剂复合施用较单施效果更明显。多效唑单施时能够增加沟叶结缕草叶片叶绿素, 维持冬季低温逆境下的正常生长^[13]。本研究进一步表明多效唑配合施用三十烷醇效果更显著, 说明复合施用具有增效作用。但 CPPU 配合施用三十烷醇效果却较差, 这可能是由于 CPPU 在较高浓度下反而对植物生长不利^[27]。

氮素是草坪需要量最多且最为关键的营养元素之一。因此,速效氮肥(尿素)能显著增加沟叶结缕草的高生长和叶绿素含量^[28]。有机肥养分释放速度慢,在试验期内对沟叶结缕草越冬生物量和生长的影响没有速效肥和植物生长调节剂明显,但它们通过降解后,可以释放一些生物活性分子,直接为土壤微生物提供有机能源,并能够激活脲酶、过氧化氢酶等土壤有益酶的生物活性,改善草坪草的营养生长环境^[29],这有助于提高植物根系活性,促进根系对矿质养分的吸收性能。因此,有机肥提高根系活力的作用显著高于调节剂和速效肥。此外,有机肥在改善草坪土壤结构方面也有独特的优势^[30],在草坪越冬期施肥管理中应予足够重视。

上述分析表明,植物生长调节剂和肥料混施通过提高越冬期沟叶结缕草叶面积指数和叶绿素含量,从而加快了草坪草的光合速率;施用复配方还引起根系活性显著增加,提高了物质运输速率,保证了其冬季低温下正常生长所需要的矿质养分。综合处理样方草坪草总体表现长势良好,80%处理样方的草层高度和生物量均显著高于对照。

3.2 调节剂和肥料混施对沟叶结缕草冬季活性氧代谢的影响

植物在受到逆境胁迫时,体内活性氧含量增加,导致脂质过氧化,使细胞膜系统受到伤害,从而严重影响生物膜的功能。超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)及过氧化氢酶(CAT)是植物膜保护的三大酶系,具有清除活性氧自由基的作用。其活性水平反映植物抗逆境能力的高低^[31]。研究表明,冬季低温时期,沟叶结缕草草坪混合施用植物生长调节剂和肥料,可在一定程度上提高活性氧清除系统(SOD、POD、CAT)活性水平,从而提高自身活性氧自由基的清除效率,使叶片细胞内活性氧自由基含量降低,减少膜脂过氧化产物(MDA)的生成,有利于提高暖季型草坪草的抗寒性。

不同速效肥对冬季沟叶结缕草活性氧代谢的影响不如植物生长调节剂和有机肥明显。有机肥对膜保护的三大酶系活性的促进作用比较大,其中以花生饼对 SOD 的促进作用最为明显,显示了有机肥在提高植物抗寒生理上的独特性,这可能与有机肥降解产物对土壤酶活力的促进作用间接相关^[29]。而施速效氮肥能最大程度地减少膜脂过氧化产物(MDA)的生成,因此,速效氮肥在短期内促进草坪的生长,提高抗性作用较其他因子大。植物生长调节剂中,多效唑和三十烷醇的配合施用处理也较另外 2 种生长调节剂处理效果好。单施多效唑能够增加沟叶结缕草叶片 SOD 活性已有报道^[13]。研究表明,多效

唑配合施用三十烷醇则更有利于沟叶结缕草叶片 SOD 和 POD 活性的提高。

活性氧代谢和与之密切相关的膜脂过氧化产物(MDA)含量变化体现草坪草在低温逆境下的耐受性及其受影响和伤害程度。研究表明,植物生长调节剂、速效肥与有机肥在提高酶促活性氧清除系统的活性水平,减少膜脂过氧化产物(MDA)上有各有侧重,复合施用发挥了各自优点,选择合适的配方混施要优于单独施用的效果。

3.3 调节剂和肥料混施对沟叶结缕草抗寒性物质含量的影响

研究表明,冬季低温时期,给沟叶结缕草施用植物生长调节剂和肥料,草坪草叶片中抗寒性物质(可溶性糖、可溶性蛋白和游离脯氨酸)^[32]的含量较清水对照有显著增加,表明混施能够减轻低温逆境下细胞膜受损程度,提高植物抗冷性,使沟叶结缕草维持绿色并安全越冬。

极差分析表明,混施条件下速效肥是影响沟叶结缕草体内抗寒性物质含量的主效因子,其中以尿素最为显著,主要因为氮是植物生长的关键大量营养元素,植物体内大多数物质的合成都需要氮元素的参与。3 种有机肥中,花生饼较其他 2 种处理对促进抗寒物质积累效果更显著,但由于养分释放速度慢,试验期内 3 种有机肥对沟叶结缕草抗寒性物质的影响没有速效肥和植物生长调节剂明显。

本研究还表明,多效唑复合三十烷醇施用较多效唑单施更有利于提高沟叶结缕草冬季抗寒性物质的含量,但与清水对照相比,单施多效唑也起到显著促进作用。三十烷醇促进抗寒性物质合成的作用也不容忽视。Ries 等认为^[33],三十烷醇能被植物很快吸收,激活某些酶的活性或改变一种细胞膜的结构,从而使代谢过程和各种中间代谢产物发生变化。二者混施较单施效果好,说明适当调节剂种类混施有利于提高单施的活性。本研究中三十烷醇和 CPPU 的组合提高抗寒物质含量的效果较差,原因可能与 CPPU 浓度施用不当有关,CPPU 浓度过高反而会达到相反的效果^[27]。

上述分析表明,合理施用植物生长调节剂和肥料能明显提高沟叶结缕草越冬期抗寒性物质的含量,从而减轻低温胁迫所受的伤害。其中,速效肥提供了抗寒物质合成所需的物质而起到主效作用,激素则通过调节代谢过程起到辅助作用。

3.4 草坪综合质量评价体系的合理性及配方优化分析

研究表明,调节剂和肥料混施时,对草坪草生长和生理等作用效果存在显著差异,因此,在正

交优选混施配方时, 采用单指标评价具有明显的局限性, 必须采用综合质量指标评价。然而, 如何表征草坪综合质量, 不同研究者有不同看法^[34,35]。本研究提出了以草坪草高度、叶面积指数(LAI)、叶绿素含量、生物量和根系活力5个指标表征草坪综合质量, 并基于综合质量的结果进行配方优化。

维持草坪生长所需的营养主要来自两方面: 一是光合作用产生的有机营养; 二是通过根系吸收的矿质养分。光合作用能力通常与草坪草叶绿素含量及叶面积指数直接相关, 高增长和生物量增加则是净光合作用积累的直接结果。根系活力表征草坪草根生命活动强弱, 根系活力越大, 说明植物从土壤中吸收矿质养分的能力越强。这5个指标不仅反映草坪草营养积累的两个基本途径, 与植物生理生态过程紧密联系, 而且指标相对稳定易测, 其中的高增长、叶绿素含量还与植物绿度和景观效果直接相关。本研究根据该综合质量指标进行配方正交分析的结果, 能综合反映用各单一指标评价的结果, 说明选用这5个指标表征草坪的综合质量具有科学合理性。

通过各因子对草坪综合质量的多重比较, 生长调节剂、速效肥及有机肥因子的最优组合为 A2B1C3。但是, 从极差分析及因子多重比较结果看, 钾镁肥和壳聚糖在生物量和叶绿素指标的影响上还有优于其他组分之处。经综合分析, 本研究认为进一步完善后的配方应加入钾镁肥和壳聚糖。因此, 混施配方应为 A2B1B3C2C3, 即多效唑、三十烷醇、尿素、硫酸钾镁肥和壳聚糖分别按 $300 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $1000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 配制成液肥按 $200 \text{ mL} \cdot \text{m}^{-2}$ 叶面喷施, 花生饼按 $90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ 撒施。

参考文献

- [1] 李亚, 谢晓金, 宣继萍, 等. 中国结缕草属(*Zoysia* spp.)植物抗寒性评价[J]. 草地学报, 2003, 11(3): 240-245
- [2] 胥晓刚, 吴彦奇. 暖季型草坪草冬季枯黄原因及对策探讨[J]. 草业科学, 2000, 17(2): 43-49
- [3] 李西, 毛凯, 熊曦, 等. 暖季型草坪草抗寒性研究进展[J]. 中国草地, 2000 (4): 53-58
- [4] 孙小霞, 林文雄. 提高结缕草草坪冬季坪用质量的措施[J]. 草业科学, 2006, 2(3): 98-103
- [5] 游明鸿. 钾肥对提高假俭草抗寒性作用的研究[J]. 草业科学, 2005, 22(2): 67-70
- [6] Gilbert W. B., Davis D. L. Influence of fertilizer ratios on winter hardiness of bermudagrass[J]. Agronomy Journal, 1971, 63: 591-593
- [7] Richardson M. D. Turf quality and freezing tolerance of 'Tifway' bermudagrass as affected by late-season N and trinexapac-ethyl[J]. Crop Science, 2002, 42(5): 1621-1626
- [8] Miller G. L., Dickens R. Potassium fertilization related to cold resistance in bermudagrass[J]. Crop Sci., 1996, 36: 1290-1295
- [9] 张文惠, 呼天明. 暖季型草坪草马蹄金冬季枯黄原因及延长绿期的对策[J]. 中国草地, 2003, 25(1): 69-73
- [10] 刘克锋, 刘悦秋, 石爱平, 等. 不同配比复混肥对瓦巴斯草坪草生长性状影响的研究[J]. 北京农学院学报, 2002 (3): 10-12
- [11] 刘世忠, 夏汉平. 不同水肥处理对三种草坪草延迟冬绿期效果比较[J]. 中国草地, 2002, 24(2): 25-30
- [12] 聂磊, 谢剑波, 梁月明. 植物生长延缓剂提高结缕草冬季抗寒性初步研究[J]. 草业科学, 2003, 20(3): 63-65
- [13] 刘文大, 魏臻武, 王槐三. 植物生长调节剂对延缓天堂草、马尼拉草衰老的作用[J]. 草业科学, 2001, 18(5): 28-32
- [14] 刘德盛, 陆修闽, 何明忠, 等. 植物生长调节剂三十烷醇(TA)乳粉对水稻产量的影响[J]. 中国工程科学, 2002, 4(11): 82-88
- [15] 黄建昌, 肖艳, 赵春香, 等. CPPU 对番木瓜干旱胁迫的保护作用[J]. 果树学报, 2003, 20(3): 211-213
- [16] 史宏志, 梁芳芝, 汤继华. 盛花期喷施多效唑和氮磷钾肥对夏大豆的保荚增产效应[J]. 河南农业大学学报, 1994, 28(1): 37-40
- [17] 范秀珍, 肖华山, 刘德胜, 等. 三十烷醇和磷酸二氢钾混用对水稻的生理效应[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2003, 19(4): 80-84
- [18] 王志勇. 磷钾肥和多效唑对高羊茅越冬性的影响研究[J]. 草业科学, 2006, 23(9): 119-122
- [19] 任继周. 草业科学研究方法[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998
- [20] 邹奇. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001
- [21] 张宪政. 植物叶绿素含量测定——丙酮乙醇混合液法[J]. 辽宁农业科学, 1986 (3): 26-28
- [22] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000
- [23] 张志良, 瞿伟菁. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003
- [24] 王颖. 试验设计与 SPSS 应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007
- [25] Karnok K. J., Beard J. B. Effects of gibberellic acid on the CO_2 exchange rates of bermudagrass and st. augustinegrass when exposed to chilling temperatures [J]. Crop Science, 1983, 23: 514-517
- [26] 朱伟华, 欧阳底梅. 施用不同比例氮磷钾肥对暖地型草坪冬季质量的影响[J]. 草原与草坪, 2003 (2): 37-39
- [27] 方学智, 费学谦, 丁明, 等. 不同浓度 CPPU 处理对美味猕猴桃果实生长及品质的影响[J]. 江西农业大学学报, 2006, 28(2): 217-222
- [28] Lawson N. Carbohydrate accumulation in relation to ammonium sulphate and IBDU nitrogen sources[J]. Journal of the Sports Turf Research Institute, 2000, 65: 140-149
- [29] 王鹏. 有机生物活性肥料对土壤肥力、微生物及酶活性的影响[J]. 安徽农学通报, 2006, 12(12): 114-115
- [30] 何随成, 江志阳, 尹微, 等. 生物有机肥对提高土壤肥力及作物品质等综合效果研究[J]. 腐植酸, 2006 (1): 39-44
- [31] Smirnoff N. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation[J]. New Phytologist, 1993, 125: 27-58
- [32] 刘祖祺, 张石城. 植物抗性生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1999
- [33] Ries S. K., Violet F. W. Rapid elicitation of second messengers by nanomolar doses of triacontanol and octacosanol[J]. Planta, 1998, 173: 79-87
- [34] 赵有益, 林慧龙, 任继周. 草坪质量的模糊数学综合评价方法[J]. 草业科学, 2006, 23(2): 92-97
- [35] 刘建秀. 草坪坪用价值综合评价体系的探讨. II. 评价体系的应用[J]. 中国草地, 2000, 3(1): 54-56